

VACUHEAT GmbH  
Hohensteiner Str. 11-13  
D-09212 Limbach-Oberfrohna

**Verfahren und Vorrichtung zur partiellen  
thermochemischen Vakuumbehandlung  
von metallischen Werkstücken**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur partiellen thermochemischen Vakuumbehandlung von metallischen Werkstücken nach dem Obergriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung hierfür nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 22.

Das thermochemische Behandeln von Werkstücken aus Metallen in einer Gasatmosphäre aus zersetzbaren Kohlenstoff- und/oder Stickstoffverbindungen, ggf. im Gemisch mit anderen Gasen, z.B. Inertgasen und/oder Wasserstoff, ist bekannt. So beschreibt die DE 41 15 135 C1 ein Verfahren zum Behandeln unter anderem von Hohlkörpern wie Einspritzdüsen oder von Bauteilen mit ähnlich schwer zugänglichen Bohrungen. Dabei werden die Werkstücke als Schüttgut im Chargenraum ohne besondere Anordnung oder Ausrichtung platziert. Die Folge ist eine schwer kontrollierbare Einringtiefe mit einer Bevorzugung der Außenflächen der Werkstücke. Sollen die Außenflächen nachträglich spanabhebend bearbeitet werden, so wird dies erschwert oder unmöglich gemacht, denn eine Härtung nach der Bearbeitung scheidet wegen des Härteverzugs aus.

Auch die EP 0 818 555 A1 befaßt sich mit dem Aufkohlen von Hohlkörpern mit Sackbohrungen, wobei jedoch das Aufkohlen wiederum bevorzugt auf der äußeren Oberfläche der Hohlkörper stattfindet.

Die EP 0 695 813 A2 offenbart zum Aufkohlen die Verwendung eines Plasmas mit pulserender Spannung zwischen 200 und 2000 Volt. Auch hierbei wird jedoch stets die gesamte Außenfläche der Werkstücke aufgekohlt.

Die Firmendruckschrift der AnmelderIn "Vakuumgestützte Kuhlungsverfahren mit Hochdruck-Gasabschreckung", Impressum: W2004d/9.97/2000/St., offenbart komplette Verfahrensabläufe sowohl in einem Einkammer-Vakuumofen als auch in einer Mehrkammer-Durchlaufanlage. Beschrieben ist speziell die Behandlung der äußeren Oberflächen von Getriebeteilen wie Zahnrädern und Wellen. Die EP 0 313 888 B2 befaßt sich speziell mit der Hochdruck-Gasabschreckung zum Härten von Werkstücken aus Stahl.

Es ist weiterhin bekannt, Werkstücke bei der konventionellen Gasaufkohlung dadurch partiell aufzukohlen, daß man nicht zu härtende äußere Oberflächenbereiche mit einer Abdeckpaste "versiegelt". Solche Abdeckpasten sind jedoch weder für Vakuumprozesse noch für Plasmaprozesse geeignet, da die Abdeckpasten dem Ionenbeschuß des Plasmas nicht standhalten. Man hat auch schon versucht, Gewinde durch Kapseln oder Stopfen mechanisch abzudecken, aber auch dabei kommt es durch die unterschiedlichen Ausdehnungen leicht zum "Unterkriechen" der Abdeckungen, die oft nur mühsam und unter Verursachung von Zerstörungen entfernt werden können. Außerdem sind die thermisch mitbehandelten Gewinde nach der Behandlung häufig nicht mehr maßhaltig.

Durch die DE 29 20 719 A1 ist es bekannt, einzelne ringförmige Werkstücke wie Zahnräder, Kupplungsteile, Laufringe für Rollenlager und dergleichen dadurch zonenweise aufzukohlen, daß man die nicht aufzukohlenden Zonen durch wieder verwendbare Verkleidungen gegen das Kohlungsgas abschirmt. Dies geschieht z.B. dadurch daß die Stirnseiten der Werkstücke durch scheibenförmige Formteile aus Metall oder briquet-

tiertem Metallpulver abgedeckt sind, die mit ringförmigen Flanschen teilweise in die Bohrung der Werkstücke eingreifen, eine Ringnut für den Schutz der Enden der Werkstücke besitzen oder abgestuft sind. In jedem Fall sollen die größten Anteile der inneren und auch der äußeren Flächenbereiche dem Kohlungsgas ausgesetzt werden. Durch die Aufkohlung und Härtung der Außenflächen wird dort eine spätere mechanische Bearbeitung, z.B. durch Gewindeschneiden, erschwert. Eine laufende Fertigung durch Ablage auf einem porösen Transportband und der Transport durch einen Durchlaufofen sind zwar offenbart, jedoch handelt es sich immer um die Behandlung von Einzelteilen. Einspritzteile für Motoren und die Nicht-Aufkohlung der Außenseiten dieser Teile sind nicht offenbart.

Durch die WO 00/58531 A1 ist es bekannt, beim Beschichten von Werkstücken mit Aluminium und/oder Chrom und deren Verbindungen Teilbereiche der Werkstücke, z.B. die Füße oder Wurzeln von Turbinenschaufeln, dadurch gegen den Einfluß des Beschichtungsmaterials zu schützen, daß man diese Teilbereiche mit wieder verwendbaren Masken oder Kappen mit keramischen Komponenten versieht, die nicht mit den Werkstücken reagieren. Immer handelt es sich jedoch um das "Maskieren" einzelner Werkstücke und das Beschichten von Außenflächen der Werkstücke. Einspritzteile für Motoren sind nicht offenbart, insbesondere nicht die Nicht-Aufkohlung aller Außenseiten dieser Teile.

Auch durch die WO 99/13125 ist es bekannt, eine Teillänge, d.h. das Ende von rohrförmigen Werkstücken, z.B. Bohrelementen, dadurch gegen eine thermochemische Oberflächenbehandlung zu schützen, daß man das Ende des Werkstücks mit einer Kappe versieht, die die besagte Teillänge gegen den Einfluß der thermochemischen Oberflächenbehandlung abschirmt. Der größte Teil der Außenflächen wird der thermochemischen Behandlung ausgesetzt. Auch hierbei handelt es sich jedoch um das "Maskieren" der Enden einzelner Werkstücke. Einspritzteile für Motoren sind nicht offenbart.

Durch die DE 35 02 144 A1 ist es bekannt, die Innenflächen von ringförmigen Werkstücken mit ebenen Stirnflächen wie geschlitzten Kolbenringen

dadurch gegen eine Nitrierbehandlung zu schützen, daß man diese Innenflächen mit einem Schutz versieht, der z.B. aus einem Überzug aus Kupfer, Nickel, Chrom oder Zinn besteht. Durch axiales Aneinanderreihen und kongruentes Verspannen der der Stirnflächen mehrerer Werkstücke gegeneinander auf einem Träger kann außerdem erreicht werden, daß nur die zylindrischen Außenflächen der Nitrierbehandlung ausgesetzt werden. Dies ist gerade das Gegenteil der Erfindung, bei der alle Außenflächen gegen eine thermochemische Behandlung geschützt werden sollen. Für andere als ringförmige und planparallel aneinanderlegbare Werkstücke ist das Verfahren weder vorgesehen noch geeignet.

Durch die DE 28 51 983 B2 ist es beim Aufkohlen von Hohlkörpern mit unterschiedlichen Wandstärken, wie z.B. bei Düsen für Dieselmotoren, bekannt, die Oberflächenbereiche der dünnwandigen Abschnitte in Umhüllungen unterzubringen, in denen ein Aufkohlungsprozeß mit geringerer Intensität als an den übrigen Oberflächenbereichen stattfindet, um ein sogenanntes "Durchkohlen" und ein Verspröden zu vermeiden. Dies gilt auch für dasjenige Ausführungsbeispiel, bei dem mehrere dünnwandige Abschnitte der Düsen durch Bohrungen in einen gemeinsamen, kastenförmigen Hohlraum eingeführt sind. Für alle Ausführungsbeispiele gilt jedoch, daß alle Oberflächenbereiche, also auch die Außenflächen der Werkstücke, aufgekohlt werden sollen und daß die Umgebungen sowohl der dickwandigen als auch der dünnwandigen Abschnitte der Hohlkörper untereinander gedrosselt, z.B. über die Düsenbohrungen selbst, an dem periodischen Gaswechsel in einem Vakuumofen teilnehmen. Die Aufkohlung und spätere Härtung der Außenflächen ist für eine nachfolgende spanabhebende Bearbeitung der Werkstücke äußerst nachteilig.

Keine der vorstehend genannten Schriften befaßt sich mit folgender Problemstellung:

1. Das Abdecken unregelmäßiger und/oder rauher Oberflächen, die z.B., durch Guß- oder Schmiedeverfahren entstanden sind, gegen das Eindringen von z.B. Kohlungsgasen gestaltet sich schwierig, wenn nicht gar unmöglich.
2. Beim Aufheizen auf die üblichen Temperaturen für Gasbehandlungen,

Durch die Erfindung wird die gestellte Aufgabe in vollem Umfange gelöst, d.h. es werde ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs beschriebenen Gattung dahingehend verbessert, daß mit ihm mehrere Werkstücke oder Chargen von vielen Werkstücken partiell, d.h. nur an genau festgelegten Oberflächenbereichen in Hohlräumen von Werkstücken, thermoche-

mischt behandelt werden können. Dies geschieht mit genau vorgegebenen und von Werkstück zu Werkstück zumindest weitgehend identischen und über viele Behandlungszyklen reproduzierbaren Verfahrensparametern. Es geht insbesondere darum, nicht nur die Werkstücke einer Charge gleichmäßig und definiert partiell zu behandeln, sondern auch die Werkstücke nachfolgender Chargen, z.B. in kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Prozessen.

Der Kern der Erfindung besteht darin, die äußeren Flächen der Werkstücke nicht thermochemisch zu behandeln, beispielsweise aufzukohlen, die thermochemische Behandlung der inneren Flächen aber trotzdem, ganz oder teilweise, sicherzustellen.

Die Erfindung besteht gewissermaßen in einer Umkehrung der klassischen Vorgehensweise: Es wird nicht mehr der größte Teil der Werkstückoberfläche der thermochemischen Gasbehandlung ausgesetzt, wobei kleinere Teilbereiche der Oberfläche(n) gegen die Gasbehandlung abgedeckt bzw. isoliert werden, sondern es werden durch den erfindungsgemäßen Formkörper die gesamte äußere Werkstückoberfläche, lediglich mit Ausnahme der zu behandelnden inneren Oberflächenbereiche, gegen die Gaseinwirkung geschützt. Dabei ist es auch nicht unbedingt erforderlich, daß der erfindungsgemäße Formkörper die Werkstücke in komplementärer Formgebung spalt- und fugenfrei umgibt, sondern es genügt, z.B. beim Behandeln des Innenraums von hohlen Werkstücken den besagten Formkörper gegenüber den Enden der Werkstücke abzudichten, ggf. unter Zwischenschaltung von Hülsen, und zwischen den Dichtstellen im Innern des Formkörpers mehrere Formhohlraum frei zu lassen, die die Werkstücke umgeben und in dem keine Gasbehandlung stattfinden kann.

Dadurch wird es möglich, Werkstücke nahezu jeder Geometrie und/oder mit unregelmäßigen und/oder rauen Oberflächen, die z.B., durch Guß- oder Schmiedeverfahren entstanden sind, thermochemisch an genau definierten Stellen zu behandeln und beim Aufheizen auf die üblichen Temperaturen für Gasbehandlungen, die bei 800 °C und darüber durchgeführt werden, die Einflüsse eines Wärmeverzugs, unterschiedlicher

Ausdehnungen etc. auf die Abdeckwirkung zu vermindern oder ganz auszuschalten. Dünnwandige Fortsätze von ansonsten dickwandigen Werkstücken werden gleichmäßiger abgekühlt und erhalten dadurch einen günstigeren Eigenspannungszustand. Die Grenzen zwischen behandelten und unbehandelten Oberflächenbereichen werden durch unterschiedliche thermische Ausdehnungen während der Behandlung nicht mehr verschoben. Insbesondere sind auch Werkstücke größerer Chargen in allen vorgegebenen Oberflächenbereichen identischen Verfahrensparametern ausgesetzt.

Die erfindungsgemäße Verwendung der die Werkstücke einschließenden Formkörper und die erfindungsgemäßen Formkörper selbst, die gewissermaßen Gehäuse darstellen, zu öffnen sind und auch als Schachteln, Boxen o.dgl. bezeichnet werden können, ermöglichen nach ihrer Beschickung mit den Werkstücken nicht nur den Transport in und durch eine Behandlungsanlage mit mehreren Prozeßstufen, sondern überraschenderweise auch die unterschiedlichsten in der Praxis vorkommenden Behandlungen wie Aufheizen, Aufkohlen (oder Aufsticken), Diffundieren, Abschrecken und Nachbehandeln in anderen Anlagen (z.B. Tiefkühlen und Anlassen), ohne daß die einzelnen Werkstücke "ausgepackt" und umgeladen werden müßten. Dieser überraschende Effekt gilt insbesondere für den Fall der in wenigen Sekunden durchzuführenden Hochdruck-Gasabschreckung, wie sie z.B. in der EP 0 313 868 B2 und in der eingangs genannten Firmendruckschrift der gleichen Anmelderin beschrieben ist.

Als thermochemische Gasbehandlung kann nicht nur eine Unterdruck-Gasbehandlung ohne Plasmaanregung bei Drücken bis zu 30.000 Pa eingesetzt werden, bei der die Formkörper und ggf. auch die zwischengeschalteten Hülse auch aus einem elektrisch nichtleitenden Material wie aus Keramik bestehen können. Vielmehr ist es insbesondere auch möglich, Verfahren der Plasmabehandlung anzuwenden, wobei die Formkörper für diesen Fall bevorzugt aus einem elektrisch leitenden Werkstoff, bevorzugt aus Graphit, bestehen können, so daß die Formkörper als Elektrode (Katode) für die Plasmaanregung dienen. Weitere Einzelheiten und Vorteile ergeben sich aus der Detailbeschreibung.

Es ist dabei im Zuge weiterer Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders vorteilhaft, wenn - entweder einzeln oder in Kombination:

- \* jeweils mindestens ein Oberflächenbereich des Hohlraums des Werkstücks durch eine eingesetzte Hülse gegen die thermochemische Behandlung abgeschirmt wird, während mindestens ein weiterer Oberflächenbereich des Hohlraums der thermochemischen Behandlung ausgesetzt wird,
- \* die thermochemische Behandlung unter Plasmaeinwirkung durchgeführt wird und wenn der Formkörper aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht,
- \* ein Formkörper mit mehreren Formhohlräumen für die Ausnahme jeweils eines Werkstücks verwendet wird,
- \* der Formkörper als Gehäuse mit einem Oberteil ausgebildet ist und wenn zumindest das Oberteil Öffnungen aufweist, die mit den Hohlräumen in den Werkstücken kommunizieren und durch die die kohlenstoffhaltige Atmosphäre in die Werkstücke eintritt,
- \* zwischen nicht zu behandelnden Oberflächenbereichen der Werkstücke und dem Formkörper zur Abdichtung Hülsen eingesetzt werden,
- \* mehrere Formkörper zu einer Charge vereint werden,
- \* das Verfahren im Vakuumbereich zwischen 10 Pa und 3000 Pa, vorzugsweise zwischen 50 Pa und 1000 Pa, durchgeführt wird,
- \* das Verfahren mit Plasmaspannungen zwischen 200 und 2000 Volt, vorzugsweise zwischen 300 und 1000 Volt, durchgeführt wird,



- \* das Plasma impulsförmig eingesetzt wird, wobei vorzugsweise die Einschaltdauer zwischen 10 und 200  $\mu$ s und die Pausendauer zwischen 10 und 500  $\mu$ s gewählt werden,
- \* als kohlenstoffhaltiges Gas mindestens ein Kohlenwasserstoff aus der Gruppe Methan, Ethan, Propan und Azethylen ausgewählt wird,
- \* dem kohlenstoffhaltigen Gas mindestens ein Gas aus der Gruppe Argon, Stickstoff und Wasserstoff zugesetzt wird, wobei der Anteil des mindestens einen Kohlenwasserstoffes zwischen 10 und 90 Volumens-% gewählt wird,
- \* als Material für die Formkörper Grafit oder CFC verwendet wird, insbesondere wenn als Material für die Formkörper ein Werkstoff verwendet wird, der zumindest bis zu einer Temperatur von 1050°C, vorzugsweise bis 1200°C, keine Verzugerscheinungen aufweist,
- \* die plasmaseitigen Enden des mindestens einen Formhohlraums der Formkörper gegenüber dem jeweiligen Werkstück plasmadicht ausgebildet werden, und/oder, wenn
  - \* die Werkstücke innerhalb des Formkörpers
    - a) vor der Aufkohlung einem Aufheizvorgang,
    - b) nach der Aufkohlung einem Diffusionsvorgang,
    - c) nach dem Diffusionsvorgang einer Hochdruck-Gasabschreckung,
    - d) nach der Hochdruck-Gasabschreckung einer Weiterbehandlung durch Tiefkühlung und Anlassen ausgesetzt werden.

Es ist dabei im Zuge weiterer Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung besonders vorteilhaft, wenn - entweder einzeln oder in Kombination:

- \* der Formkörper als Gehäuse ausgebildet ist und aus einem elektrisch

leitfähigen Werkstoff besteht und wenn die Werkstücke im Formhohlraum derart einschließbar sind, daß sich bei der Anwendung von Plasma zwischen dem Formkörper und den Werkstücken kein Plasma ausbildet,

- \* der Formkörper zum Behandeln von Werkstücken mit Hohlräumen, die einer thermochemischen Vakuumbehandlung ausgesetzt werden, mehrere Öffnungen besitzt, die mit den Hohlräumen der jeweils zugehörigen Werkstücke kommunizieren,
- \* der Formkörper als Gehäuse mit einem Oberteil ausgebildet ist und wenn zumindest das Oberteil mehrere Öffnungen aufweist, die mit den Hohlräumen in den jeweils zugehörigen Werkstücken kommunizieren,
- \* der Formkörper ein Unterteil aufweist, das mehrere Öffnungen aufweist, und wenn die Achsen der Öffnungen im Oberteil und im Unterteil fluchten,
- \* zwischen Unterteil und Oberteil eine auf dem Umfang umlaufende Trennfuge angeordnet ist, die eine teleskopartige Bewegung zwischen Unterteil und Oberteil ermöglicht,
- \* die plasmaseitigen Enden der Öffnungen im Formkörper gegenüber dem jeweiligen Werkstück plasmadicht ausgebildet sind,
- \* Hülsen vorgesehen sind, die zwischen dem Werkstück und dem Unterteil einerseits und dem Werkstück und dem Oberteil andererseits einsetzbar und derart an das Werkstück angepaßt sind, daß nicht zu behandelnde Oberflächenbereiche der Werkstücke von der thermochemischen Behandlung ausgeschlossen sind,
- \* mehrere Formkörper durch ein Transportgestell zu einer Charge vereinigt sind, insbesondere, wenn das Transportgestell Traversen zur Aufstellung von Formkörpern mit Abständen nebeneinander und übereinander aufweist,

- \* als Material für die Formkörper Grafit oder CFC verwendet wird, insbesondere wenn als Material für die Formkörper ein Werkstoff verwendet wird, der zumindest bis zu einer Temperatur von 1050°C, vorzugsweise bis 1200°C, keine Verzugerscheinungen aufweist, und/oder, wenn
- \* der Formkörper innerhalb einer evakulierbaren Kammer mit einem Einlaß für mindestens einen Kohlenwasserstoff angeordnet und als Katode für eine Plasmaausbildung geschaltet ist.

Ein Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes und seine Wirkungsweise werden nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 6 in Verbindung mit einer thermochemischen Plasmabehandlung näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1 einen halben Vertikalschnitt durch eines der Werkstücke innerhalb des Formkörpers quer zu dessen Längsachse ,
- Figur 2 eine Draufsicht auf ein Ende eines Formkörpers für zahlreiche Werkstücke in verkleinertem Maßstab,
- Figur 3 eine Seitenansicht eines Transportgestells mit einer Charge, bestehend aus zwölf Formkörpern, in drei Etagen,
- Figur 4 eine weitere Seitenansicht des Gegenstandes nach Figur 3 aus einer um 90 Grad verdrehten Blickrichtung,
- Figur 5 einen Längsschnitt durch eine Durchlaufanlage zur Behandlung von Chargen nach den Figuren 3 und 4 in stark schematisierter Darstellung und
- Figur 6 einen Ausschnitt aus Figur 5 in vergrößertem Maßstab und mit zusätzlichen Details.

In Figur 1 ist ein hülsenförmiges Werkstück 1 mit einer Achse A-A dargestellt, das einen Hohlraum 2 in Form einer Stufenbohrung besitzt, von der die stark umrandeten inneren zylindrischen Oberflächenbereiche 3, 4 und 5 sowie der Oberflächenbereich 6, eine kreisringförmige Stirnseite, aufgekocht werden sollen, die übrigen Oberflächenbereiche hingegen nicht. Die hervorgehobenen Oberflächenbereiche 3, 4, 5 und 6 sind bei der Behandlung einem Plasma einer kohlenstoffhaltigen Atmosphäre ausgesetzt.

Das Werkstück 1 besitzt einen rohrförmigen Fortsatz 1a, dessen Außenseite 1b gegen den Plasmabeschuß geschützt werden muß. Dies geschieht durch eine Hülse 7 mit einem Kragen 7a, die den Fortsatz 1a mit kleinstmöglichem Spiel umschließt, um ein Eindringen des Plasmas zu verhindern. Die Hülse 7 kann aus einem metallischen Werkstoff, aber auch aus einem Nichtmetall bestehen, das keine Reaktion mit dem Werkstück 1 eingeht. In das obere Ende des Werkstücks 1, dessen Hohlraum 2 an dieser Stelle einen größeren Durchmesser hat, ist eine weitere Hülse 8 mit einem Kragen 8a eingesetzt, der gegenüber dem Werkstück einen Ringspalt 9 frei läßt, um Toleranzen und/oder Wärmedehnungen auszugleichen. Wichtig ist, daß in eine Trennfuge 10 kein Plasma eindringen kann. Auch die Hülse 8 kann gleichfalls aus einem metallischen Werkstoff, aber auch aus einem Nichtmetall bestehen, das keine Reaktion mit dem Werkstück 1 eingeht. Das Werkstück 1 und die Hülsen 7 und 8 bilden gewissermaßen einen rotationssymmetrischen Stapel, der die nachstehend beschriebene Funktion hat. Die Rotationssymmetrie ist aber nicht zwingend.

Der vorstehend beschriebene Stapel ist in einen zweiteiligen Formkörper 11 eingesetzt, der aus einem Unterteil 12 und einem Oberteil 13 besteht, deren Zargen 12a und 13a sich an einer Z-förmigen Trennfuge 14 plasmadicht und teleskopartig übergreifen. Das Unterteil 12 besitzt eine Öffnung 12b, in die die Hülse 7 - wiederum plasmadicht - eingesetzt ist, und das Oberteil 13 besitzt eine Öffnung 13b, deren Rand den Kragen 8a der Hülse 8 - wiederum plasmadicht - übergreift. Die Achsen der Öffnungen 12a und 13a fluchten miteinander. Dadurch stützt sich das Oberteil 13, eine Art Deckel, auf dem Stapel aus dem Werkstück 1 und den Hülsen 7 und 8 ab.

Das deutlich gezeigte Vertikalspiel an der Trennfuge 14 dient dazu, Toleranzen und/oder Wärmedehnungen auszugleichen. In dem das Werkstück 1 einschließenden Formhohlraum 15 kann sich infolgedessen kein Plasma ausbilden. Der Formhohlraum 15 kann jedes Werkstück eng umschließen, er kann aber auch Freiräume um das Werkstück bilden, sofern nur sichergestellt ist, daß zwischen den Öffnungen 12a und 13a und dem Werkstück und/oder den Hülsen 7 und 8 kein Plasma eindringen kann. Freiräume begünstigen das Einsetzen von Werkstücken mit unterschiedlichen Geometrien.

Der Formkörper 11 besteht vorzugsweise aus Grafit oder CFC, das die geforderten Eigenschaften hinsichtlich Lebensdauer, Wiederverwendbarkeit, Temperaturbeständigkeit, thermischem Ausdehnungskoeffizienten und elektrischer Leitfähigkeit hat. Die Hülsen 7 und 8 sind nicht zwingend erforderlich, können aber dann von Vorteil sein, wenn der Formkörper 11 aus Grafit besteht, der eine Aufkohlung an unerwünschten Stellen des Werkstücks begünstigen könnte. Außerdem können die auswechselbaren Hülsen 7 und/oder 8 als Adapter für das Einsetzen von Werkstücken mit unterschiedlichen Geometrien dienen.

Es versteht sich, daß sich die Anordnung nach Figur 1 innerhalb des Formkörpers 11 beliebig oft wiederholen kann, was anhand von Figur 2 dargestellt ist.

Die Figur 2 zeigt nun eine Draufsicht auf ein Ende eines solchen Formkörpers 11 in verkleinertem Maßstab, und zwar auf das Oberteil 13 mit einer Vielzahl solcher Öffnungen 13b, jedoch ohne Werkstücke, deren Einsatz beim Gebrauch der Zahl der Öffnungen 13b entspricht. Der auch hier vorhandene Formhohlraum 15 kann um jedes Werkstück herum geschlossen sein, er kann aber auch um einige oder alle Werkstücke herum durchgehend sein. Soll ein solcher Formkörper 11 nur teilweise mit Werkstücken gefüllt werden, so genügt es, die ansonsten frei bleibenden Öffnungen 12a und 13a durch Blindstopfen zu verschließen.

Die Figuren 3 und 4 zeigen Seitenansichten eines Transportgestells 16 mit einer Charge 17, bestehend aus zwölf Formkörpern 11 in drei Etagen. Das Transportgestell 16 besteht aus einem quaderförmigen Rahmengebilde, dessen einzelne Rahmenelemente mit den Kanten des Quaders zusammenfallen. Durch das Rahmengebilde erstreckt sich eine Vielzahl von waagerechten Traversen 18, auf denen die Formkörper 11 ruhen.

Die Figur 5 zeigt einen Längsschnitt durch eine Durchlaufanlage 19 zur Behandlung von Chargen 17 nach den Figuren 3 und 4 in stark schematisierter Darstellung. Die Durchlaufanlage 19 besitzt in einer Reihenanordnung - in Arbeitsrichtung gezählt - insgesamt fünf Kammern 20, 21, 22, 23 und 24, die durch innere Schleussenschieber 25, 26, 27 und 28 voneinander getrennt bzw. trennbar sind. Am Eingang der Durchlaufanlage 19 befindet sich ein Einschleusschieber 29 und am Ausgang ein Ausschleusschieber 30. Durch die Schieber 28 und 30 dient die letzte Kammer 24, die Abschreckkammer, gleichzeitig als Ausschleuskammer.

Die Kammer 20 ist eine Einschleuskammer und hat einen Stellplatz für eine Charge 17. Die Kammer 21 ist eine Aufheizkammer und hat Stellplätze für drei Chargen 17 sowie drei Umwälzgebläse 31. Die Kammer 22 ist eine Aufkohlungskammer und hat einen Stellplatz für eine Charge 17. Die Kammer 23 ist eine Diffusionskammer und hat Stellplätze für zwei Chargen 17. Die Kammer 24 ist eine kalte Hochdruck-Abschreckkammer und hat einen Stellplatz für eine Charge 17, ein Umwälzgebläse 32 und einen Gaskühler 33. Die Zahl der Chargen 17 in den Kammern 21, 22, 23 und 24 und die dadurch vorgegebenen Verweilzeiten und Kammerlängen sind auf eine bestimmte Taktzeit von beispielsweise 30 Minuten eingestellt.

Der Aufheizvorgang in der Kammer 21 beträgt somit 90 Minuten, und während dieser Zeit rücken die Chargen 17 taktweise alle 30 Minuten nach. Der Aufkohlvorgang in der Kammer 22 beträgt somit maximal 30 Minuten, kann aber innerhalb dieser Zeit und nach Erreichen der vorgegebenen Aufkohltiefe durch Unterbrechung der Spannungsversorgung für die Plasmaerzeugung abgebrochen werden. Der Diffusionsvorgang in der Kammer 23 beträgt somit 60 Minuten, und während dieser Zeit rücken die

Chargen 17 taktweise alle 30 Minuten nach. Der Abschreckvorgang in der Kammer 24 beträgt somit maximal 30 Minuten, ist aber erfahrungsgemäß kurzzeitig beendet. Der Transport der Chargen 17 erfolgt durch ein an sich bekanntes Hubbalkensystem, das aber der Einfachheit halber nicht dargestellt ist.

Während aller Behandlungsvorgänge verbleiben die Werkstücke 1 in den Formkörpern, sie müssen also nicht "ausgepackt" und umgeladen werden. Es hat sich überraschend herausgestellt, daß die Kapselung in den Formkörpern auch keinen negativen Einfluß auf andere Vorgänge als das Aufkohlen, insbesondere auf das Hochdruck-Gasabschrecken, hat. Vielmehr können die Werkstücke auch nach vollendeter Abschreckung und für weitere Nachbehandlungen in den Formkörpern verbleiben, wie beispielsweise in einer weiteren Anlage für eine Tiefkühlung durch gasförmigen Stickstoff von bis zu  $-150^{\circ}\text{C}$  zur Restumwandlung des Austenits und nachfolgendes Anlassen.

Die Figur 6 zeigt einen Ausschnitt aus Figur 5 in vergrößertem Maßstab und mit zusätzlichen Details. Dargestellt sind in der Aufkohlkammer 22 eine Anordnung von Heizstäben 34, die auf beiden Seiten des Transportweges angeordnet sind, und ein Ständer 35, der auf Isolatoren 36 ruht. An diesen Ständer ist, was nicht dargestellt ist, der negative Pol einer Impuls-Spannungsquelle für eine Plasmaerzeugung angeschlossen, während die Kammerwände 22a sich auf Massepotential befinden. Auch die Gaszuleitungen für die verschiedenen möglichen Kohlenwasserstoffe wie Methan, Ethan, Propan und Azetylen und ggf. Inertgase wie Stickstoff und Argon und ggf. ein Reduktionsgas wie Wasserstoff sowie Mischungen aus diesen Gasen sind ebensowenig dargestellt wie der Saugstutzen eines Vakuumpumpsatzes.

#### Beispiel:

In einer Vakuum-Durchlaufanlage 19 nach den Figuren 5 und 6 wurden Chargen 17 mit der in den Figuren 1 bis 3 beschriebenen Anordnung und Ausbildung thermochemisch behandelt. Die quaderförmigen Formkörper

11 nach den Figuren 1 und 2 bestanden aus Grafit und hatten die Außenabmessungen  $L = 500 \text{ mm}$ ,  $B = 100 \text{ mm}$  und  $H = 60 \text{ mm}$ . Die Raumverteilung der hülsenförmigen Werkstücke 1, die aus einem üblichen Einsatzstahl bestanden, und der Hülsen 7 und 8 entsprach Figur 1 in Verbindung mit Figur 2. Der taktweise Betrieb der Anlage ist weiter oben beschrieben. Die Taktzeit der Anlage betrug 30 Minuten. Die Gasatmosphäre in den Kammern 21, 22 und 23 bestand aus 50 Volumensprozent Methan, 25 Volumensprozent Argon und 25 Volumensprozent Wasserstoff. Die Drücke lagen bei etwa 100 Pa.

Die Chargen 17 wurden einzeln über die Kammer 20 einchargiert und zunächst in der Kammer 21 innerhalb von 90 Minuten mittels der Heizstäbe 34 auf eine Temperatur von  $960^\circ\text{C}$  aufgeheizt. Danach wurde die jeweils letzte der Chargen 17 zum Aufkohlen bei gleichfalls  $960^\circ\text{C}$  in die Kammer 22 transportiert, und die Spannungsversorgung dieser Charge 17 wurde für die Dauer von 20 Minuten eingeschaltet. Die pulsierende bzw. getaktete Spannung betrug - 700 Volt.

Anschließend wurde die aufgekohlte Charge 17 zur Diffusion des aufgenommenen Kohlenstoffs bei gleichfalls  $960^\circ\text{C}$  in die Kammer 23 transportiert, in der sie unter einmaligem Umsetzen vom ersten auf den zweiten, durch Ausbringen der letzten Charge frei gewordenen, Stellplatz 60 Minuten verblieb. Anschließend wurde die jeweils letzte Charge 17 in die Kammer 24 verbracht und dort unter Härtung der aufgekohlten Teilbereiche unter Beachtung der üblichen Z-T-U-Diagramme abgeschreckt. Ein solcher Vorgang ist in der EP 0 313 888 B2 sehr ausführlich beschrieben, so daß sich hier weitere Angaben erübrigen.

Nach dem anschließenden Tiefkühlen mit gasförmigem Stickstoff von bis zu  $-150^\circ\text{C}$  und dem üblichen Anlassen wurde an den aufgekohlten Bereichen der Werkstücke 1 eine Härte HV von über 700 gemessen, und an einem Schliffbild wurde eine sehr gleichmäßige Einhärtetiefe von 0,7 bis 0,8 mm ermittelt. Der Verzug der Werkstücke lag innerhalb vorgegebener Toleranzen, und die Werkstücke 1 waren absolut rissfrei. Die Formkörper 11 konnten verzugsfrei beliebig oft wieder verwendet werden.



Soweit vorstehend "definierte" Hohlräume 2 innerhalb eines Werkstücks 1 beschrieben sind, handelt es sich um solche, die während der thermochemischen Behandlung an mindestens einer Stelle von außen für die Ofenatmosphäre zugänglich sind, beispielsweise durch mindestens eine der jeweils einem Werkstück zugeordneten Öffnungen 12b und/oder 13b.

Der zu behandelnde Oberflächenbereich 6, eine kreisringförmige Stirnfläche, wird den inneren Oberflächenbereichen 3, 4 und 5 zugerechnet, da dieser Oberflächenbereich 6 mit dem Oberflächenbereich 5, einer Bohrungswandung des Werkstücks 11, in Verbindung steht.

Bezugszeichenliste:

- 1 Werkstück
- 1a Fortsatz
- 1b Außenseite
- 2 Hohlraum
- 3 Oberflächenbereich
- 4 Oberflächenbereich
- 5 Oberflächenbereich
- 6 Oberflächenbereich
- 7 Hülse
- 7a Kragen
- 8 Hülse
- 8a Kragen
- 9 Ringspalt
- 10 Trennfuge
- 11 Formkörper
- 12 Unterteil
- 12a Zarge
- 12b Öffnung
- 13 Oberteil
- 13a Zarge
- 13b Öffnung

- 14 Trennfuge
- 15 Formhohlraum
- 16 Transportgestell
- 17 Charge(n)
- 18 Traversen
- 19 Durchlaufanlage
- 20 Kammer
- 21 Kammer
- 22 Kammer
- 22a Kammerwände
- 23 Kammer
- 24 Kammer
- 25 Schleusenschieber
- 26 Schleusenschieber
- 27 Schleusenschieber
- 28 Schleusenschieber
- 29 Einschieusschieber
- 30 Ausschleusschieber
- 31 Umwälzgebläse
- 32 Umwälzgebläse
- 33 Gaskühler
- 34 Heizstäbe
- 35 Ständer
- 36 Isolatoren

A-A Achse

\*\*\*\*\*



Patentansprüche:

1. Verfahren zur partiellen thermochemischen Vakuumbehandlung von metallischen Werkstücken (1), insbesondere zum Aufkohlen und Einsatzhärten von Werkstücken (1) aus Einsatzstahl in einer kohlenstoffhaltigen Atmosphäre, wobei zu behandelnde Oberflächenbereiche (3, 4, 5, 6) und nicht zu behandelnde Oberflächenbereiche aneinander stoßen, und wobei die nicht zu behandelnden Oberflächenbereiche während der Behandlung der übrigen Oberflächenbereiche (3, 4, 5, 6) durch wiederverwendbare Formkörper (11) aus einem temperaturbeständigen Material abgedeckt werden, dadurch gekennzeichnet, daß zum gleichzeitigen Behandeln mehrerer Werkstücke (1) mit definierten Hohlräumen (2) die Werkstücke (1) in einem Formkörper (11) mit mindestens einem Formhohlraum (15) und mehreren Öffnungen (12b, 13b) untergebracht werden, durch die die kohlenstoffhaltige Atmosphäre in die Hohlräume (2) der Werkstücke (1) eintritt, wobei der Formkörper (11) die Werkstücke (1) derart einschließt, daß auf den äußeren Oberflächenbereichen der Werkstücke (1) keine thermochemische Behandlung stattfindet,
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils mindestens ein Oberflächenbereich des Hohlraums (2) des Werkstücks (1) durch eine eingesetzte Hülse (8) gegen eine thermochemische Behandlung abgeschirmt wird, während mindestens ein weiterer Oberflächenbereich (3, 4, 5) des Hohlraums (2) der thermochemischen Behandlung ausgesetzt wird,
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die thermochemische Behandlung unter Plasmaeinwirkung durchgeführt wird und daß der Formkörper (11) aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht.

10080921.022202

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Formkörper (11) mit mehreren Formhohlräumen (15) für die Aufnahme jeweils eines Werkstücks (1) verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) als Gehäuse mit einem Oberteil (13) ausgebildet ist und daß zumindest das Oberteil (13) Öffnungen (13b) aufweist, die mit den Hohlräumen (2) in den Werkstücken (1) kommunizieren und durch die die kohlenstoffhaltige Atmosphäre in die Werkstücke (1) eintritt.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen nicht zu behandelnden Oberflächenbereichen der Werkstücke (1) und dem Formkörper (11) zur Abdichtung Hülsen (7, 8) eingesetzt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Formkörper (11) zu einer Charge (17) vereinigt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren im Vakuumbereich zwischen 10 Pa und 3000 Pa, vorzugsweise zwischen 50 Pa und 1000 Pa, durchgeführt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit Plasmaspannungen zwischen 200 und 2000 Volt; vorzugsweise zwischen 300 und 1000 Volt, durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma impulsförmig eingesetzt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einschaltdauer zwischen 10 und 200  $\mu$ s und die Pausendauer zwischen 10 und 500  $\mu$ s gewählt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als kohlenstoffhaltiges Gas mindestens ein Kohlenwasserstoff aus der Gruppe Methan, Ethan, Propan und Azetylen ausgewählt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß dem kohlenstoffhaltigen Gas mindestens ein Gas aus der Gruppe Argon, Stickstoff und Wasserstoff zugesetzt wird, wobei der Anteil des mindestens einen Kohlenwasserstoffes zwischen 10 und 90 Volumens-% gewählt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Material für die Formkörper (11) Grafit verwendet wird.
15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Material für die Formkörper (11) CFC verwendet wird.
16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Material für die Formkörper (11) ein Werkstoff verwendet wird, der zumindest bis zu einer Temperatur von 1050°C, vorzugsweise bis 1200°C, keine Verzugserscheinungen aufweist.
17. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die plasmaseitigen Enden des mindestens einen Formhohlraums (15) der Formkörper (11) gegenüber dem jeweiligen Werkstück (1) plasmadicht ausgebildet werden.
18. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1) innerhalb des Formkörpers (11) vor der Aufkohlung einem Aufheizvorgang ausgesetzt werden.
19. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1) innerhalb des Formkörpers (11) nach der Aufkohlung einem Diffusionsvorgang ausgesetzt werden.

20. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1) innerhalb des Formkörpers (11) nach dem Diffusionsvorgang einer Hochdruck-Gasabschreckung ausgesetzt werden.
21. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke (1) innerhalb des Formkörpers (11) nach der Hochdruck-Gasabschreckung mindestens einer Weiterbehandlung aus der Gruppe Tiefkühlung und Anlassen ausgesetzt werden.
22. Vorrichtung zur Verwendung in einer Einkammeranlage oder in einer Mehrkammer-Durchlaufanlage zur partiellen thermochemischen Vakuumbehandlung von metallischen Werkstücken (1), insbesondere zum Aufkohlen und Einsatzhärten von Werkstücken (1) aus Einsatzstahl in einer kohlenstoffhaltigen Atmosphäre, wobei zu behandelnde Oberflächenbereiche (3, 4, 5, 6) und nicht zu behandelnde Oberflächenbereiche aneinanderstoßen und für eine Abdeckung nicht zu behandelnder Oberflächenbereiche während der Behandlung der übrigen Oberflächenbereiche (3, 4, 5, 6) mindestens ein wieder verwendbarer Formkörper (11) vorgesehen ist, der aus einem temperaturbeständigen Material besteht, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Formkörper (11) mehrere Formhöhlräume (15) für das Einsetzen mehrerer Werkstücke (1) vorgesehen sind, wobei die Werkstücke (1) im Formhohlraum (15) derart einschließbar sind, daß auf den äußeren Oberflächen der Werkstücke (1) keine thermochemische Behandlung stattfindet.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) als Gehäuse ausgebildet ist und aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff besteht und daß die Werkstücke (1) im Formhohlraum (15) derart einschließbar sind, daß sich bei Anwendung von Plasma zwischen dem Formkörper (11) und den Werkstücken (1) kein Plasma ausbildet.

1008094 032200  
202220 1268007

24. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) zum Behandeln der Werkstücke (1) mit Hohlräumen (2), die einer thermochemischen Vakuumbehandlung ausgesetzt werden, mehrere Öffnungen (12b, 13b) besitzt, die mit den Hohlräumen (2) der jeweils zugehörigen Werkstücke (1) kommunizieren.
25. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) als Gehäuse mit einem Oberteil (13) ausgebildet ist und daß zumindest das Oberteil (13) mehrere Öffnungen (13b) aufweist, die mit den Hohlräumen (2) in den jeweils zugehörigen Werkstücken (1) kommunizieren.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) ein Unterteil (12) aufweist, das mehrere Öffnungen (12b) aufweist, und daß die Achsen der Öffnungen (13a, 12a) im Oberteil (13) und im Unterteil (12) fluchten.
27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Unterteil (12) und Oberteil (13) des Formkörpers (11) eine auf dem Umfang umlaufende Trennfuge (14) angeordnet ist, die eine teleskopartige Bewegung zwischen Unterteil (12) und Oberteil (13) ermöglicht.
28. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die plasmaseitigen Enden der Öffnungen (12b, 13b) im Formkörper (11) gegenüber dem jeweiligen Werkstück (1) plasmadicht ausgebildet sind.
29. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 22 bis 28, gekennzeichnet durch Hülsen (7, 8), die zwischen dem Werkstück (1) und dem Unterteil (12) einerseits und dem Werkstück (1) und dem Oberteil (13) andererseits einsetzbar sind und die derart an das Werkstück (1) angepaßt sind, daß nicht zu behandelnde Oberflächenbereiche der Werkstücke (1) von der thermochemischen



Behandlung ausgeschlossen sind.

30. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Formkörper (11) durch ein Transportgestell (16) zu einer Charge (17) vereinigt sind.
31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Transportgestell (16) Traversen (18) zur Aufstellung von Formkörpern (11) nebeneinander und übereinander aufweist.
32. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) aus Grafit besteht.
33. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) aus CFC besteht.
34. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß als Material für den Formkörper (11) ein Werkstoff verwendet wird, der zumindest bis zu einer Temperatur von 1050°C, vorzugsweise bis 1200°C, keine Verzugerscheinungen aufweist.
35. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkörper (11) innerhalb einer evakulierbaren Kammer (22) mit einem Einlaß für mindestens einen Kohlenwasserstoff angeordnet und als Katode für eine Plasmaausbildung geschaltet ist.

\*\*\*\*\*